Altimetría satelital para el monitoreo de la onda Kelvin ecuatorial en el Océano Pacífico

Kobi Mosquera, David Pareja y Ken Takahashi

Instituto Geofísico del Perú

Desde mediados del verano del año en curso, se viene monitorizando en el Pacífico ecuatorial la evolución de dos ondas Kelvin muy intensas que se formaron en el extremo oeste y que pueden tener un impacto en la temperatura de la superficie del mar (TSM) a lo largo de la costa peruana. Desafortunadamente, desde varios meses atrás, el principal sistema de boyas para el monitoreo del Pacífico ecuatorial (proyecto TAO: www.pmel.noaa.gov) está colapsando en el extremo este (Takahashi et al, 2014a, Takahashi et al., 2014b) por problemas, principalmente, presupuestales. Como consecuencia, el seguimiento de las ondas Kelvin se ha dificultado. Por este motivo, el Instituto Geofísico del Perú está implementando productos alternativos para la monitorización de las ondas Kelvin usando otras fuentes de datos (Takahashi et al, 2014b). A continuación se muestran los avances conseguidos con los datos de altimetría de JASON-2.

El satélite de altimetría JASON-2, lanzado en el año 2008, es la continuación científica de los proyectos Topex/Poseidon y JASON-1, que son parte de la misión topográfica de la superficie oceánica (*Ocean Surface Topography Mission* – OSTM). JASON-2 es un proyecto de cooperación entre cuatro agencias internacionales: *Centre National d'Etudes Spatiales* (CNES), *National Aeronautics and Space Administration*" (NASA), la *European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT) y la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA)[1].

Entre sus características básicas, JASON-2 sigue una órbita terrestre a 13.336 km de altitud y tiene una cobertura del globo que abarca desde 66°N a 66°S de latitud, explorando el 95% de las regiones oceánicas sin hielo. Es importante señalar que JASON-2 tiene una precisión de 3.4 cm en las mediciones del nivel del mar y se espera que en el futuro se logre un valor de 2.5 cm con un nuevo proyecto denominado JASON-3[2]. Finalmente, para cubrir toda la superficie oceánica del globo terrestre, el satélite realiza 254 pasadas (trayectorias) cada diez días, terminadas las cuales repite el ciclo en la toma de datos[1].

Con respecto a los productos del nivel 2 (L2), JASON-2 los agrupa en: 1) *Operational Geophysical Data Record* (OGDR), el cual se caracteriza por la disponibilidad de la información en tiempo real (3-5 horas); 2) *Interim Geophysical Data Record* (IGDR), que proporciona datos con un retraso de un día; y 3) *Geophysical Data Record* (GDR), el cual, después haber aplicado un control de calidad, coloca la información con una demora de aproximadamente 60 días[1].

En esta primera etapa de generación de productos alternativos, el IGP ha procesado la información de anomalía del nivel del mar de JASON-2 en tiempo real (OGDR)[3] para crear un diagrama Longitud vs. Tiempo a lo largo del Pacífico ecuatorial de la siguiente manera:

1) Se seleccionó solamente la información de la anomalía del nivel del mar que pasa por la línea ecuatorial, a la cual se le restó el promedio que va desde el 01 de junio de 2009 hasta el 31 de diciembre de 2013. Adicionalmente, se aplicaron algunas condiciones para eliminar valores extraños (Fig. 1). Es importante señalar que la información de OGDR tuvo una disminución brusca del valor promedio en julio de 2012; este cambio, que es una corrección, se debe a que se detectó un error de altimetría luego del lanzamiento del satélite (Shailen Desai (NASA), comunicación personal). Para poder utilizar la información completa se tuvo que restar 17.8 cm a los valores anteriores al 31 de julio de 2012. Los resultados muestran que la corrección es buena.

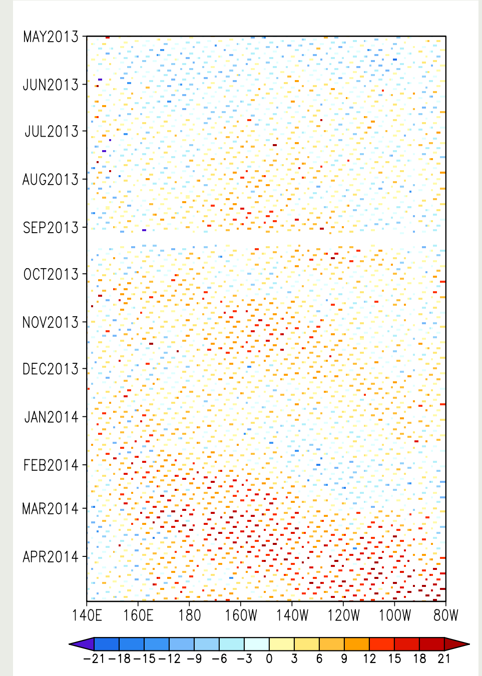


Figura 1. Anomalía del nivel del mar (cm) calculada por JASON-2 en los puntos, a largo del Pacífico ecuatorial, en donde el altímetro obtiene la información.

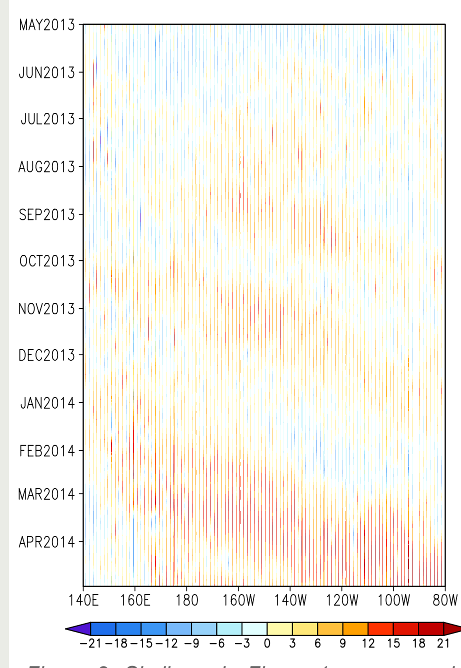


Figura 2. Similar a la Figura 1, pero para la información de la anomalía del nivel del mar (cm) interpolada linealmente en el tiempo.

[1] *Para mayor detalle, ver el manual de usuario que se encuentra en el siguiente enlace: ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/allData/ostm/preview/L2/GPS-OGDR/docs/userhandbook.pdf.*

[2] *Para mayor información, https://sealevel.jpl.nasa.gov/missions/jason3.*

[3] *La información de OGDR está disponible del 30 de mayo de 2009 al día de hoy.*

2) Con la información corregida, se aplicó una interpolación lineal en el eje del tiempo, aprovechando que el altímetro vuelve a obtener información del mismo punto luego de 10 días (Fig. 2).

3) Se calculó una correlación retrasada de la anomalía del nivel del mar de JASON-2 con respecto al punto 140°W y la región que va desde 160°E hasta 80°W. Este cálculo se aplicó considerando que la principal variabilidad del nivel del mar en el Pacífico ecuatorial se debe a la presencia de la onda Kelvin, la cual tiene una señal coherente que se inicia en el oeste y concluye en el este en un tiempo posterior[4]. Por lo tanto, un(a) mejor suavizado (interpolación) no solo debe incluir la información de la dirección zonal, sino también la del eje temporal. El resultado de la correlación se aprecia en la Figura 3, la cual, según hemos indicado arriba, debe ser el patrón característico de la onda Kelvin ecuatorial en el producto de la anomalía del nivel del mar de JASON-2 para el periodo 2009-2014 en el eje Longitud-Tiempo. Basado en este patrón, se seleccionan los valores máximos de la correlación en cada punto de la dirección zonal, los mismos que luego se someten a un ajuste de mínimos cuadrados para obtener una recta en la cual se hará el suavizado (o interpolación) de la información (línea azul, Fig. 3). Los resultados del proceso de suavizado a lo largo de una diagonal de pendiente 0.5 día grado^{-1} se muestran en la Figura 4.

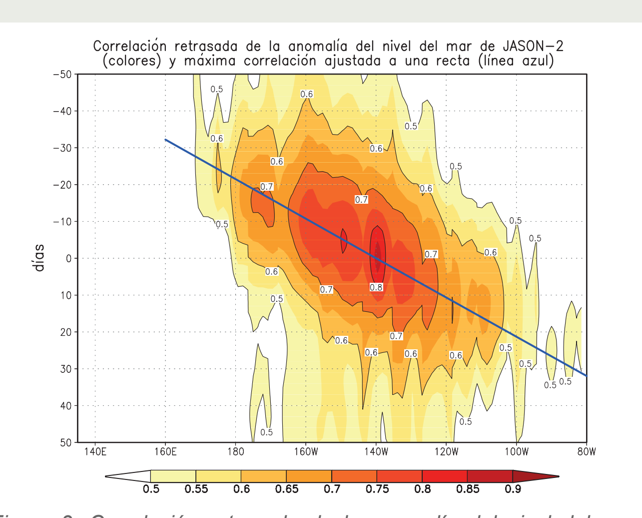


Figura 3. Correlación retrasada de la anomalía del nivel del mar de JASON-2 con respecto al punto 140°W y la región que va desde 160°E hasta 80°W (en colores). La línea recta de color azul representa el ajuste por mínimos cuadrados de los valores de la máxima correlación en cada punto del Pacífico ecuatorial, entre 160°E y 80°W, y tiene como pendiente el valor absoluto de 0.5 día grado^{-1} ≈ 1/(2.6 m s^{-1}), donde 2.6 m s-1 es una cantidad equivalente a la velocidad teórica de la onda Kelvin del primer modo baroclínico (Boulanger y Menkes, 1995).

Como se mencionó arriba, el patrón que se observa en la Figura 3 debe ser el característico de la onda Kelvin. Para corroborar esto, se usó nuevamente la pendiente de la línea azul de la Figura 3, cuyo valor es 0.5 día grado^{-1}, que es equivalente a 1/(2.6 m s^{-1}), donde 2.6 m s^{-1} se encuentra dentro del rango de la velocidad teórica de la onda Kelvin del primer modo baroclínico

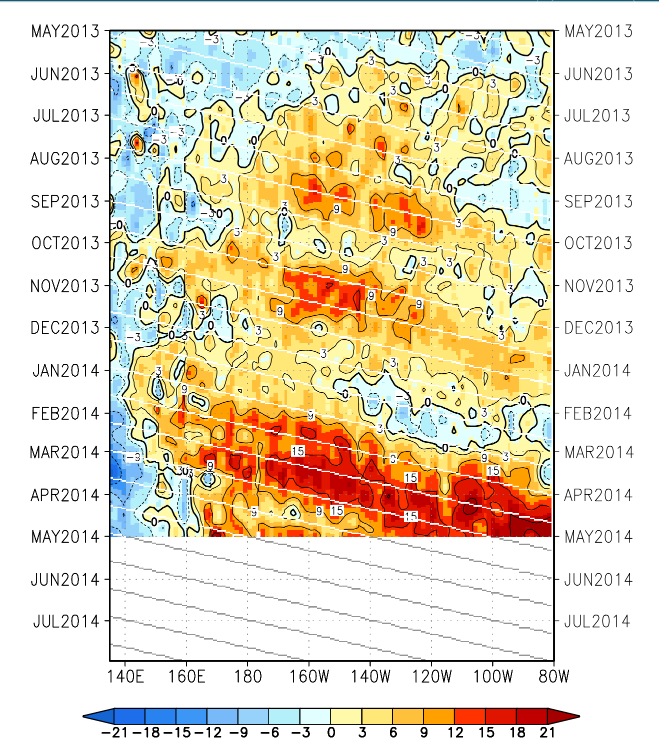


Figura 4. En colores se representa la anomalía del nivel del mar de JASON-2 suavizada a lo largo de la línea de máxima correlación retrasada (ver Figura 3). Las líneas diagonales, blancas y grises, representan la evolución característica de una onda Kelvin oceánica ecuatorial de velocidad 2.6 ms^{-1} (ver texto y Figura 3).

(Boulanger y Menkes, 1995). Este resultado permite establecer un diagrama con líneas diagonales, las cuales se muestran en la Figura 4 en color blanco y gris que indican la evolución teórica, en el tiempo y espacio, de una onda Kelvin con una velocidad igual a 2.6 m s^{-1} ("Kelvingrama ecuatorial para c = 2.6 m s^{-1} "). Este producto permitirá tener una idea de cuándo debe llegar una onda Kelvin al extremo este, una vez que se observa en los datos de nivel del mar de JASON-2.

Para el futuro se espera juntar la información de GDR con la de OGDR y tener un producto temporalmente más largo, el cual se inicie en el año 2008. Asimismo se espera calcular, usando la proyección meridional de la onda Kelvin, la contribución exacta de dicha onda sobre el nivel del mar a lo largo de las trayectorias de los satélites.

Referencias

Boulanger, J-P., y C. Menkes, 1995: Propagation and reflection of long equatorial waves in the Pacific Ocean during 1992-1993 El Niño, J. geophysical Research, 100 (C12), 25, 041-25, 059.

Takahashi, K., R. Martinez, A. Montecinos, B. Dewitte, D. Gutiérrez, and E. Rodriguez-Rubio, 2014a: Regional applications of observations in the eastern Pacific: Western South America, TPOS 2020 Whitepaper 8a[5].

Takahashi, K., K. Mosquera, D. Pareja, J. Reupo y J. Aparco, 2014b: Monitoreo del Pacífico ecuatorial, Boletín Técnico "Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño", Vol. 1, No. 3, Marzo, Instituto Geofísico del Perú.

[4] Similar procedimiento se aplica en Mosquera et al. (The Central Pacific intraseasonal equatorial Kelvin wave, enviado a Journal Geophysical. Research.-Oceans) para observar el cambio de las características de la onda Kelvin ecuatorial intra-estacional cuando cruza la longitud 120°W.
[5]http://ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=13044.